



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.10.2013 Patentblatt 2013/44

(51) Int Cl.:
G01N 21/47 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12165720.9**

(22) Anmeldetag: **26.04.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
 • **Brodmann, Rainer**
76476 Bischweier (DE)
 • **Brodmann, Boris**
76131 Karlsruhe (DE)

(71) Anmelder: **OptoSurf GmbH**
76275 Ettlingen (DE)

(74) Vertreter: **Schaumburg, Thoenes, Thurn, Landskron, Eckert**
Postfach 86 07 48
81634 München (DE)

(54) **Vorrichtung zum Erfassen von Streulicht mit rotierendem Prisma**

(57) Beschrieben wird eine Vorrichtung zum Erfassen von Streulicht, das von einer Probe (24) reflektiert wird. Einfallendes Licht (P1) und reflektiertes Licht (P2) durchsetzen einen Bild-Rotator (44), der in einen Tubus

(26) und in einer Hohlwelle (28) eines Hohlwellenmotors (30) angeordnet ist. Ein Detektor (50) erfasst beim Verdrehen des Tubus (26) die vollständige räumliche Streulichtverteilung.

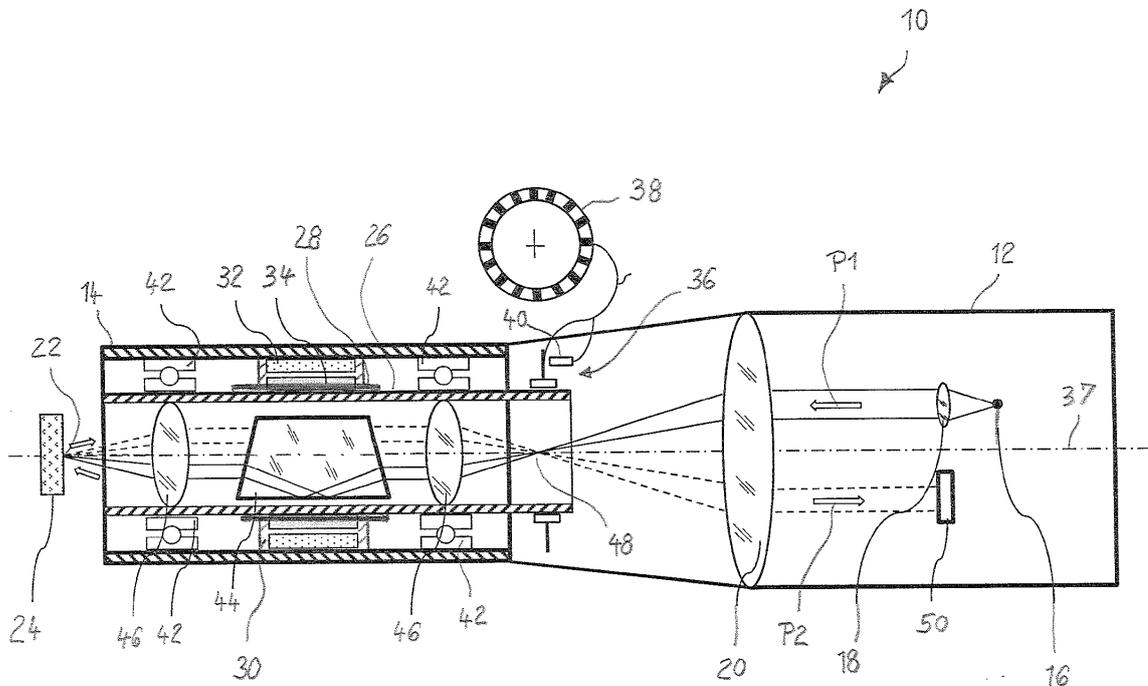


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Erfassen von Streulicht, das von einer Probe reflektiert wird, mit einer in einem Gehäuse angeordneten Lichtquelle, deren Licht die Probe beleuchtet, und mit einem im Gehäuse angeordneten Detektor, der entlang einer Zeile eine Vielzahl von fotoempfindlichen Detektor-Elementen hat und dem das von der Probe reflektierte Streulicht zuführbar ist.

[0002] Mit Hilfe einer solchen Vorrichtung kann ein Winkel aufgelöstes Streulichtverfahren durchgeführt werden, das mit hoher Messgeschwindigkeit zur Überwachung von Fertigungsprozessen und zur Erfassung von Oberflächenkenngrößen dient. Gemessen wird die Winkelverteilung der Oberfläche über das gemessene rückgestreute Licht. Hieraus können sowohl Kennwerte für die Mikrostruktur der Oberfläche als auch Formmerkmale, wie z.B. Rundheit, Rattermarken, etc., berechnet werden (vgl. hierzu VDA 2009).

[0003] Vorrichtungen zum Erfassen von Streulicht zur Beurteilung von Oberflächen sind seit längerem bekannt und haben sich in der Praxis bewährt. Aus der DE 30 37 622 C2 ist eine Einrichtung zur Bestimmung der Oberflächengüte bekannt, bei der mit einer Lichtquelle eine zu untersuchende Oberfläche beleuchtet und das reflektierte Licht einer Reihe von zeilenförmig angeordneten Detektoren zugeführt wird. Die Ausgangssignale der Detektoren werden nach statistischen Methoden ausgewertet und dabei Kennwerte ermittelt, die die untersuchte Oberfläche charakterisieren. Durch Drehung der Messebene kann die Richtungsabhängigkeit des Reflexionsverhaltens von Oberflächen mit gerichteter, anisotroper Rauheitsstruktur festgestellt werden.

[0004] Die DE 33 37 468 C2 beschreibt eine Vorrichtung zur Ermittlung von Kenngrößen für die Oberflächenstruktur, die ebenfalls aus der Streulichtverteilung ermittelt werden. Bei Verwendung einer zeilenförmigen Detektoranordnung wird vorgeschlagen, diese zu drehen, um die flächenhafte Streulichtverteilung zu ermitteln.

[0005] Die EP 0 210 263 B1 beschreibt eine Vorrichtung zur Ermittlung von Gestaltsfehlern niedriger Ordnung, wie z.B. Unebenheiten, Wellen, Rillen, Rattermarken. Es wird die Streulichtverteilung mit Hilfe von Lichtempfangselementen nach statistischen Methoden ausgewertet und daraus auf die Oberflächenkenngrößen geschlossen. Durch Verdrehung der Achse einer Lichtempfangselement-Zeile gegen die Abtastrichtung kann die Winkelempfindlichkeit der Messvorrichtung gesteigert werden.

[0006] Die vorgenannten Vorrichtungen des Standes der Technik ermitteln die Streulichtverteilung nur entlang einer Dimension, nämlich in zeilenrichtung der zeilenförmig angeordneten Detektor-Elemente. Dies hat den Vorteil, dass die gesamte Vorrichtung, auch Streulichtsensor genannt, eine kompakte Bauweise hat, die erforderlich ist, um als In-Line-Messgerät in der Fertigung oder an Prüfplätzen eingesetzt zu werden. Auf diese Weise kann

die Oberflächenrauheit bzw. Oberflächengestalt in einer Richtung mit relativ hoher Genauigkeit bestimmt werden. In der realen Praxis ist die Rauheit oder die Textur der Oberfläche nicht nur in einer Richtung von Bedeutung, sondern es wäre vorteilhaft, die von Oberflächenstrukturen, z.B. der Längsrauheit und/oder der Querrauheit hervorgerufene Streulichtverteilung zu ermitteln, um daraus auf Oberflächenstrukturen und Oberflächenfehler schließen zu können.

[0007] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zum Erfassen von Streulicht von zu prüfenden Oberflächen anzugeben, die eine räumliche Auswertung der Streulichtverteilung bei einer kompakten Bauform der Vorrichtung mit hoher Genauigkeit ermöglicht.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung nach dem Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0009] Gemäß der Erfindung ist in einem Gehäuse der Vorrichtung eine Lichtquelle angeordnet, deren Licht die Probe beleuchtet. Das Licht kann Strahlung im sichtbaren und im nicht sichtbaren Bereich, z.B. UV-Licht oder IR-Licht, umfassen und kann auf einen eingeeengten Spektralbereich oder auch breitbandig sein. In dem Gehäuse ist ein Detektor angeordnet, der entlang einer Zeile eine Vielzahl von fotoempfindlichen Detektor-Elementen hat und dem das von der Probe reflektierte Streulicht zuführbar ist. Die Verwendung eines zeilenförmigen Detektors hat den Vorteil, dass der beanspruchte Raum relativ klein ist, so dass eine kompakte Bauform auch bei einem relativ großen Streuwinkelbereich möglich ist. Außerdem haben sich zeilenförmige Detektor-Elemente, beispielsweise in der Form eines Linear-Arrays aus Silicium-Fotodioden, in der Praxis gut bewährt und besitzen ein geringes Rauschen sowie ein hohes Nutzsignal-Rausch-Verhältnis. In einem drehbar gelagerten Tubus ist ein Bild-Rotator angeordnet, wobei das von der Lichtquelle auf die Probe einfallende Licht und das reflektierte Streulicht den Bild-Rotator durchsetzen. Der Bild-Rotator bewirkt beim Drehen des Tubus, dass sich auch die vom Messfleck auf der Probe ausgehende Streulichtkeule, auch Streulicht-Indikatrix genannt, dreht, so dass auf die Zeile der Detektor-Elemente eine vom Drehwinkel abhängige Streulichtverteilung auftrifft. Wenn die Streulichtverteilung sich um 360° gedreht hat, so kann mit den fotoempfindlichen Detektor-Elementen innerhalb des empfangbaren Streuwinkelbereichs eine vollständige räumliche Streulicht-Indikatrix aufgenommen werden.

[0010] Die Signale der fotoempfindlichen Detektorelemente werden abhängig vom Drehwinkel des Tubus einer Analyseeinheit zugeführt, die die Signale auswertet. Diese Auswertung kann nach den in der VDA 2009 bzw. den weiter oben genannten Dokumenten nach statistischen Methoden erfolgen. Man erhält dann abhängig vom Drehwinkel Kenngrößen, die sich aus der vollständigen räumlichen Streulicht-Indikatrix ergeben, woraus auf die Drehwinkel abhängige Oberflächenstruktur der untersuchten Oberfläche und seine Textur sowie auf richtungsabhängige Oberflächenfehler geschlossen

werden kann.

[0011] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Bild-Rotator als Prisma, insbesondere als Dove-Prisma ausgebildet. Beispielsweise das Dove-Prisma hat die Eigenschaft, ein Bild entlang seiner Längsachse doppelt so schnell zu drehen, wie es selbst um seine Drehachse gedreht wird. Das Prisma, insbesondere das Dove-Prisma, ist nun so anzuordnen, dass der auf die Probe einfallende Lichtstrahl in seiner Form beim Drehen nicht geändert wird. Die vom Messfleck ausgehende Streulichtkeule wird mit doppelter Drehgeschwindigkeit der Drehung des Prismas gedreht, so dass dem zeilenförmigen Detektor beim Verdrehen des Tubus um 180° die vollständige räumliche Streulichtverteilung zugeführt wird.

[0012] Eine andere Weiterbildung sieht vor, dass im Tubus eine Relais-Optik angeordnet ist. Diese Relais-Optik, z.B. bestehend aus einem in Richtung der optischen Achse vor dem Bild-Rotator angeordneten Linse und eine nach dem Bild-Rotator angeordneten Linse, dient zur Vermeidung von Abberationen durch das Prisma. Die Relais-Optik verlagert den Messort in eine größere Entfernung ohne Veränderung des Abbildungsmaßstabes und ohne Veränderung der Streuwinkel-Skalierung. Typischerweise werden zwei gleiche Linsen in symmetrischer Anordnung benutzt. Zwischen beiden Linsen befindet sich das Prisma, z.B. das Dove-Prisma, in einem kollimierten Strahlengebiet.

[0013] Eine andere Weiterbildung sieht vor, dass der Tubus von einer Hohlwelle eines Hohlwellenmotors aufgenommen ist. Der Hohlwellenmotor dient als Antrieb zur Drehung des Tubus. Sein Rotor umfasst eine innen hohle Welle, in die der Tubus eingesetzt ist. Bei Drehung des Rotors wird auch der Tubus um seine Längsachse und damit das in ihm enthaltene Prisma um seine Längsachse verdreht. Die von der Probe rückgestreute Streulichtkeule wird mit der doppelten Drehgeschwindigkeit gedreht, so dass bei der zeilenförmigen Erfassung durch den Detektor im beobachtbaren Winkelbereich die gesamte räumliche Verteilung des Streulichtes erfasst wird.

[0014] Weiterhin ist in einem Ausführungsbeispiel ein Rotationssensor vorgesehen, der den Drehwinkel des Tubus bei seiner Rotation erfasst und ein entsprechendes Signal der Analyseeinheit zuführt. Beispielsweise kann der Rotationssensor als Encoder-Scheibe ausgebildet sein, dessen Hell/Dunkel-Markierungen auf dem Umfang der Scheibe durch einen Reflex-Sensor erfasst werden. Anhand des Signals wird die Drehlage der Streulichtkeule in Bezug auf die Ausrichtung der Vorrichtung ermittelt, so dass auf die Strukturrichtung der untersuchten Oberfläche geschlossen werden kann.

[0015] Vorteilhaft ist es, wenn der Tubus in einem Vorsatz-Modul aufgenommen ist, welches austauschbar mit dem Gehäuse verbindbar ist. Im Gehäuse sind der Detektor und die Lichtquelle zusammen mit optischen Bauteilen fest angeordnet. Außerdem befindet sich in dem Gehäuse eine Detektor-Auswertelektronik, die die Signale der fotoempfindlichen Detektor-Elemente ohne Einkopplung von Störsignalen mit einer hohen Taktrate

erfassen. An dieses Gehäuse können nun verschiedene Vorsatz-Module angebracht werden. Diese Vorsatz-Module sind an bestimmte Anwendungsfälle optimal angepasst, beispielsweise im Hinblick auf den erfassbaren Streuwinkelbereich, eine bestimmte geometrische Form des Abtastkopfes etc.. Im vorliegenden Fall sind der Tubus, der Hohlwellenmotor, der Rotationssensor und zugehörige Elemente im Vorsatz-Modul aufgenommen, welches gegen ein anderes Vorsatz-Modul ausgetauscht werden kann.

[0016] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Figuren erläutert. Darin zeigt:

Figur 1 eine schematische Darstellung der Vorrichtung zum Erfassen von Streulicht,

Figur 2 eine schematische Darstellung optischer und optoelektronischer Elemente der Vorrichtung,

Figur 3 den Strahlengang im Tubus mit Dove-Prisma und Relais-Optik,

Figur 4 die Streulichtverteilung hervorgerufen durch Querrauheit bzw. Längsrauheit,

Figur 5 den Zusammenhang von Streulichtverteilung und Oberflächenprofil bei einer geschliffenen Oberfläche,

Figur 6 den Zusammenhang von Streulichtverteilung und Oberfläche bei einem Drehprofil,

Figur 7 ein Blockschaltbild zur Auswertung der gemessenen Streulichtverteilung, und

Figur 8 eine mit der Vorrichtung aufgenommene räumliche Streulichtverteilung.

[0017] Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung 10 zum Erfassen von Streulicht. Diese Vorrichtung 10 umfasst ein Sensorgehäuse 12, an welches ein Vorsatz-Modul 14 austauschbar befestigt ist. Innerhalb des Sensorgehäuses 12 ist eine Lichtquelle 16 angeordnet, vorzugsweise eine lichtemittierende Diode LED oder eine Laserdiode. Bevorzugt wird eine LED mit isotrop strahlender Leuchtfläche, die eine gleichmäßige Abstrahlcharakteristik hat. Das ausgesendete Licht kann im IR-Bereich liegen. Jedoch sind auch andere Spektralbereiche möglich. Beispielsweise können auch sogenannte Super-LEDs eingesetzt werden, die spektral breitbandiges Licht, z.B. weißes Licht, abstrahlen.

[0018] Das von der Lichtquelle 16 divergent abgestrahlte Licht wird durch einen Kollimator 18 parallelisiert und trifft in Pfeilrichtung P1 auf ein Fourier-Objektiv 20. Die Brennweite des Kollimators 18 bestimmt zusammen mit der Brennweite des Fourier-Objektivs 20 den Abbildungsmaßstab für die Leuchtfläche der Lichtquelle, z.B. die Leuchtfläche der LED. Aus diesem

Abbildungsmaßstab ergibt sich die Größe eines Messflecks 22 auf der zu untersuchenden Probe 24. Die Größe des Messflecks kann zusätzlich durch Variation der Kollimatorbrennweite und dem Leuchtflächendurchmesser der Lichtquelle, beispielsweise auch durch Einstellung mittels einer Blende, variiert werden.

[0019] Das Vorsatz-Modul 14 ist mit Hilfe eines Flansches (nicht dargestellt), am Gehäuse 12 austauschbar befestigt. Es enthält einen Tubus 26, der von einer Hohlwelle 28 eines Hohlwellenmotors 30 aufgenommen ist. Der Hohlwellenmotor 30 umfasst eine Statorwicklung 32 und einen Rotormagneten 34 oder eine Rohrwicklung. Im angetriebenen Zustand rotiert die Hohlwelle 28 um eine Mittelachse 37 und damit auch der Tubus 26. Ein Rotationssensor 36 erfasst den Drehwinkel des Tubus 26 bzw. der Hohlwelle 28 und führt einer Analyseeinheit (nicht dargestellt) ein entsprechendes Signal zu. Der Rotationssensor 36 erfasst bei diesem Beispiel eine Encoder-Scheibe 38 mit Hell/Dunkel-Markierungen, die von einem Reflexsensor 40 abgetastet werden. Die Encoder-Scheibe 38 ist am Umfang des Tubus 26 befestigt, und der Reflexsensor 40 ist ortsfest angeordnet. Falls die im Hohlwellenmotor 30 vorhandene Lagerung der Hohlwelle nicht ausreicht, können weitere Lager 42 vorgesehen sein, um den Tubus 26 zu lagern.

[0020] Im Inneren des Tubus 26 ist als Bildrotator ein Dove-Prisma 44 sowie eine Relais-Optik umfassend zwei Linsen 46 angeordnet. Dieses Dove-Prisma 44 dreht das Bild entlang seiner Längsachse doppelt so schnell wie es selbst um seine Längsachse gedreht wird. Diese Eigenschaft wird hier genutzt, um das von der Oberfläche der Probe 24 reflektierte Strahlenbündel zu drehen. Zur Vermeidung von Abberationen beim Einsatz des Dove-Prismas 44 in einem divergenten Strahlengang dient die Relais-Optik mit den beiden Linsen 46. Diese Linsen 46 werden in symmetrischer Anordnung benutzt. Die erste Linse 46 bildet ein vom Kollimator 18 und dem Fourier-Objekt 20 entworfene Luftbild 48 der LED 16 ins Unendliche ab. Die nachfolgende zweite Linse 46 erzeugt eine Rückabbildung vom Unendlichen auf den Messfleck 22. Zwischen beiden Linsen 46 befindet sich das Dove-Prisma 44 in einem kollimierten Strahlengebiet, so dass durch die Verwendung achsparallelen Lichtes der Astigmatismus des Dove-Prismas 44 reduziert wird. Der Abbildungsmaßstab wird durch die Relais-Optik nicht verändert. Die Strecke zwischen den beiden Linsen 46 kann in Grenzen frei gewählt werden, so dass eine optimale Anpassung an die Abmessungen des Dove-Prismas 44 und der Tubuslänge erreicht wird.

[0021] Die vom Messfleck 22 rückgestreute Strahlung durchsetzt die Relais-Optik und das Dove-Prisma 44 und trifft auf das Fourier-Objektiv 20. Dieses Fourier-Objektiv 20 transformiert den Streuwinkel in eine radiale Wegstrecke um. Das Streulicht trifft gemäß Pfeil P2 auf einen zeilenförmigen Detektor 50, dessen Zeilenrichtung senkrecht zur Papierebene der Figur 1 verläuft. Bei Drehung der Hohlwelle 28 um 180° dreht sich die Streulichtverteilung ausgehend vom Messfleck 22 um 360°, so dass

dem Detektor 50 eine vollständige räumliche Streulichtkeule innerhalb des vorgegebenen rotationssymmetrischen Winkelerfassungsbereichs zugeführt wird. Der Detektor 50 ist vorzugsweise als Linear-Detektorarray mit einer Vielzahl von Fotodioden (z.B. 32, 64, 128 Fotodioden) ausgebildet. Die Signale dieser Fotodioden werden von einer im Gehäuse 12 angeordneten Auswerteelektronik (nicht dargestellt) mit hoher Geschwindigkeit abgetastet. Die Anordnung der Auswerteelektronik in dem Gehäuse 12 hat den Vorteil, dass kaum Störsignale eingekoppelt werden. Die Verwendung von Silicium-Fotodioden hat den Vorteil, dass diese einen sehr geringen Dunkelstrom haben, geringes Rauschen zeigen und dadurch ein hohes Nutz-Störsignalverhältnis haben. Zusätzlich haben diese Fotodioden einen geringen Temperaturgang, so dass sie mit hoher Reproduzierbarkeit das empfangene Streulicht und mit hoher Auflösung in elektrische Signale wandeln.

[0022] Vorzugsweise ist vor den Detektor 50 ein Bandpassfilter (nicht dargestellt) angebracht, dessen Durchlassbereich spektral an das von der Lichtquelle 16, beispielsweise eine LED, angepasst ist. Auf diese Weise wird eine Störsignalunterdrückung von Fremdlicht, z.B. auch Tageslicht, erreicht. Außerdem kann vor den Detektor 50 eine Blende angeordnet sein, welche die azimutale Auflösung der erfassten räumlichen Streulichtverteilung verbessert. Als weitere Möglichkeit kann vor den Detektor eine Zylinderlinse angeordnet sein, die den Erfassungsbereich für Streustrahlung vergrößert.

[0023] Figur 2 zeigt schematisch optische und optoelektronische Elemente der Vorrichtung nach Figur 1, jedoch um 90° gedreht. Gleiche Teile sind gleich bezeichnet.

[0024] Der zeilenförmige Detektor 50 mit seinen Detektor-Elementen (eines ist mit der Laufvariablen i bezeichnet) liegt bei dieser Darstellung in der Papierebene. Der Detektor hat von dem Fourier-Objektiv 20 einen Abstand f_c gleich der Brennweite des Fourier-Objektivs 20. Das Luftbild 48 der Leuchtfläche der Lichtquelle 16 entsteht im Abstand der Brennweite f_c . Die Relais-Optik mit den Linsen 46 überträgt dieses Luftbild 48 als Messfleck 22 auf die Oberfläche der Probe 24, wobei die Brennweiten der Linsen 46 f_b und f_a maßgeblich sind, die vorzugsweise gleich groß sind. Das von der Lichtquelle 16 herkommende einfallende Lichtbündel 52 beleuchtet den Messfleck 22. Streustrahlung im Winkel w wird über die Relais-Optik 46 und das Dove-Prisma 44 zum Fourier-Objektiv 20 übertragen, welches den Winkel w transformiert in die radiale Strecke yy' , so dass der eingezeichnete Strahl auf das Detektor-Element i fällt und dort in ein elektrisches Signal gewandelt wird. Bei Rotation des Dove-Prismas 44, wie dies anhand des Drehpfeils P3 schematisch in Figur 2 links dargestellt ist, verdreht sich auch die von der Oberfläche der Probe 24 rückgestreute Streu-Indikatrix 54. Bei einer schnellen Abtastung der Detektor-Elemente des Detektors 50 kann abhängig vom Drehwinkel die gesamte räumliche Streu-Indikatrix 54 erfasst und in elektrische Signale gewandelt werden.

[0025] Figur 3 zeigt schematisch das Dove-Prisma 44 und die durch die Linsen 46, 46 gebildete Relais-Optik. Das Dove-Prisma 44 ist ein Prisma mit der Grundfläche eines Trapezes mit um 45° geneigten Seitenflächen. Trifft ein entlang der Längsachse des Dove-Prismas 44 verlaufender durch die Linse 46 kollimierter Lichtstrahl auf eine der geneigten Einfallflächen, so wird er zunächst in das Dove-Prisma 44 hineingebrochen und auf die längste Seite des Prismas geleitet. Dort erfährt der Lichtstrahl eine Totalreflexion und wird auf die zweite schräge Fläche geleitet, wo er aus dem Dove-Prisma 44 austritt. Der Strahlverlauf nach dem Dove-Prisma 44 entspricht der optischen Achse des einfallenden Strahls, jedoch erfährt das Bild durch die Reflexion innerhalb des Dove-Prismas 44 eine Spiegelung parallel zur reflektierenden Fläche. Auf diese Weise ergibt sich für ein Bild eine Drehung um die Längsachse des Dove-Prismas 44, was bei der vorliegenden Erfindung zur Drehung der Streulicht-Indikatrix bzw. der Streulichtkeule genutzt wird.

[0026] Figur 4 zeigt anhand einer schematischen Darstellung das bei der vorliegenden Erfindung angewendete Grundprinzip der Streulicht- Messtechnik nach der ARS- Methode (Angular Resolved Scattering) . Sie dient zur Oberflächencharakterisierung, wobei das auf einen Messfleck 22 einer Probe 24 einfallende Licht in einen Winkelbereich als Streulichtverteilung gestreut wird. Legt man in die Probe 24 ein x, y- Koordinatensystem, so erkennt man anhand der Streulichtverteilung in Richtung φ_x und φ_y den engen Zusammenhang zwischen Querrauheit bzw. Längsrauheit und der zugehörigen Streulichtverteilung. Aus der Intensitätsverteilung des Streulichts in Richtung φ_x bzw. φ_y kann durch Bildung entsprechender Kenngrößen auf Rauheitskenngrößen der Oberfläche der Probe 24 geschlossen werden. In Figur 4 fällt das einfallende Licht unter einem schrägen Winkel ein. Analoge Verhältnisse gelten jedoch auch bei senkrechtem Einfall des Lichtes, wie dies in den Figuren 1 und 2 gezeigt ist.

[0027] Figur 5 zeigt das Grundprinzip der Ermittlung von Kenngrößen auf der Grundlage der winkelaufgelösten Streulicht-Methode. Die zu messende Probe 24 hat im vorliegenden Fall ein stochastisches Schleifprofil. Die zu messende Oberfläche wird senkrecht mit Strahlung der Lichtquelle 16, typischerweise eine LED, in einem Messfleck 22 mit einem vorgegebenen (und variierbaren) Durchmesser beleuchtet und das rückgestreute Licht wird innerhalb eines maximal messbaren Streuwinkelbereichs α von dem Fourier-Objektiv 20 erfasst. Der Detektor 50 ist mit seiner Anzahl von Detektor-Elementen so angeordnet, dass die einzelnen Detektor-Elemente zu den diskreten Streuwinkelwerten φ die entsprechenden Intensitätswerte I_φ liefern. Durch Normierung erhält man eine lineare winkelaufgelöste Streulichtverteilung $H1(\varphi)$, welche Informationen über die Mikrostruktur der Oberfläche erhält. Außerdem erhält man Informationen über die Gestaltabweichung niederer Ordnung (z.B. Form) ausgedrückt im Verkippwinkel β , welcher

eine Verschiebung der Intensitätswerte um die Größe $M1$ bewirkt. Die Streulichtverteilung I_φ und damit ermittelbare Oberflächenkenngrößen hängen von verschiedenen Sensorparametern ab, nämlich dem Messfleckdurchmesser (z.B. 0,3, oder 0,9 mm Durchmesser), dem Öffnungswinkel α des Fourier-Objektivs 20 (z.B. 32°), der Anzahl der Detektor-Elemente des Detektors 50 (z.B. Detektorauflösung 1°). Aus der Streulichtverteilung I_φ können Kenngrößen, wie z.B. Aq, Ask, Aku, etc., über die Oberfläche ermittelt werden, wie sie in der Richtlinie VDA 2009 beschrieben sind.

[0028] Figur 6 zeigt eine weitere Probe 24, die im Messfleck 22 ein asymmetrisches Drehprofil aufweist. Wie zu erkennen ist, ist die Streulichtverteilung I_φ ebenso asymmetrisch. Aufgrund der Verkipfung um den Winkel β ergibt sich eine Verschiebung $M2$ der Streulichtverteilung I_φ . Aus dieser Streulichtverteilung I_φ werden sodann Kenngrößen für die Oberfläche der Probe 24 ermittelt.

[0029] Figur 7 zeigt ein Blockschaltbild eines mit der Vorrichtung 10 arbeitenden Messsystems. Eine Steuerung 54 steuert eine Stromquelle 56 an, die die als LED ausgebildete Lichtquelle 16 mit Strom versorgt. Das Licht der LED gelangt zur Probe 24, deren Streulichtverteilung von den Detektor-Elementen des Detektors 50 in elektrische Signale gewandelt wird. Ein Multiplexbaustein Mux tastet die Detektor-Elemente nacheinander ab und wandelt die analogen Messsignale in Digitalsignale um, die einer Analyseeinheit 58 zugeführt werden. Die Steuerung steuert den Hohlwellenmotor 30 an, dessen Rotation vom Rotationssensor 36 als Drehwinkel ϑ erfasst und der Steuerung 54 zugeführt wird. Die Analyseeinheit 58 und die Steuerung 54 sind zu einem computerisierten Messplatz zusammengefasst. Die Messwerterfassung ist so aufgebaut, dass selbst bei einer Drehung des Hohlwellenmotors 30 mit 1000 Umdrehungen je Minute Streulichtverteilungen in Abständen von $\vartheta = 5^\circ$ Winkelgrad erfasst werden können. Auf diese Weise ermittelt die Analyseeinheit nicht nur Kennwerte aus der Intensitätsverteilung I_φ sondern aus der räumlichen Intensitätsverteilung $I_{\varphi,\vartheta}$. Aufgrund der hohen Abtastgeschwindigkeit (typischer Wert 10000 Messungen der Intensitätsverteilungen I_φ pro Sekunde) und der hohen Rotationsgeschwindigkeit können mit der Vorrichtung Oberflächen vollständig in kurzer Zeit abgetastet werden. Hierbei können Oberflächenkennwerte zur Charakterisierung der dreidimensionalen Oberflächenstruktur und der Textur, Texturfehler und Oberflächendefekte oder Oberflächenfehler mit hoher Genauigkeit erfassbar werden. Diese Geschwindigkeit der Abtastung kann noch gesteigert werden, wenn eine Datenübertragung mittels Ethernet erfolgt.

[0030] Figur 8 zeigt eine Darstellung einer räumlichen Streulichtverteilung bzw. einer Streulichtkeule, wie sie mit der Vorrichtung nach der Erfindung gemessen werden kann. Anhand dieser dreidimensionalen Streulichtverteilung können Kennwerte ermittelt werden, welche die dreidimensionale Oberflächenstruktur der untersuchten Probe kennzeichnen.

Bezugszeichenliste		i	Detektor- Element
[0031]		P3	Drehpfeil
10	Vorrichtung zum Erfassen von Streulicht	5 54	Streu- Indikatrix
12	Sensorgehäuse, Gehäuse	54	Steuerung
14	Vorsatz- Modul	56	Stromquelle
16	Lichtquelle	10 9	Drehwinkel
18	Kollimator	58	Analyseeinheit
P1	Pfeilrichtung des einfallenden Lichtes	15	
20	Fourier- Objektiv		
22	Messfleck		
24	Probe	20	
26	Tubus		
28	Hohlwelle	25	
30	Hohlwellenmotor		
32	Statorwicklung	30	
34	Rotormagnet		
36	Rotationssensor		
37	Mittelachse	35	
38	Encoder- Scheibe		
40	Reflexsensor		
42	Lager	40	
44	Dove- Prisma		
46	Linse einer Relais- Optik	45	
48	Luftbild		
P2	Streulicht		
50	Detektor	50	
f_a, f_b, f_c	Brennweiten		
w	Winkel	55	
y'	radiale Strecke		

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Erfassen von Streulicht, das von einer Probe (24) reflektiert wird, mit einer in einem Gehäuse (12) angeordneten Lichtquelle (16), deren Licht die Probe (24) beleuchtet, einem im Gehäuse (12) angeordneten Detektor (50), der entlang einer Zeile eine Vielzahl von fotoempfindlichen Detektor-Elementen hat und dem das von der Probe (24) reflektierte Streulicht zuführbar ist, einem drehbar gelagerten Tubus (26), in welchem ein Bild-Rotator (44) angeordnet ist, wobei das von der Lichtquelle (16) auf die Probe (24) einfallende Licht und das reflektierte Streulicht den Bild-Rotator (44) durchsetzen, und wobei die Signale der fotoempfindlichen Detektor-Elemente abhängig vom Drehwinkel des Tubus (26) einer Analyseeinheit (58) zugeführt sind, die die Signale auswertet.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Bild-Rotator als Prisma, insbesondere als Dove-Prisma (44) ausgebildet ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der im Tubus (26) eine Relais-Optik (46) angeordnet ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Tubus (26) von einer Hohlwelle (28) eines Hohlwellenmotors (30) aufgenommen ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, bei der ein Rotationssensor (36) den Drehwinkel des Tubus (26) erfasst und ein entsprechendes Signal der Analyseeinheit (58) zuführt.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Tubus (26) in einem Vorsatz-Modul (14) aufgenommen ist, welches austauschbar mit dem Gehäuse (12) verbindbar ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Detektor (50) als Fotodioden-

zeile ausgebildet ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Lichtquelle (16) als Halbleiter-Bauteil ausgebildet ist, dessen Strahl durch eine Kollimatorlinse (18) formbar ist. 5
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der vor dem Detektor (50) eine Blende mit vorbestimmter rechteckiger Öffnung angeordnet ist, durch die die azimutale Auflösung der Streulichtverteilung einstellbar ist. 10
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Lichtquelle (16) und der Detektor (50) in Nebeneinanderstellung symmetrisch zu einer Mittelachse (37) im Gehäuse (12) angeordnet sind. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

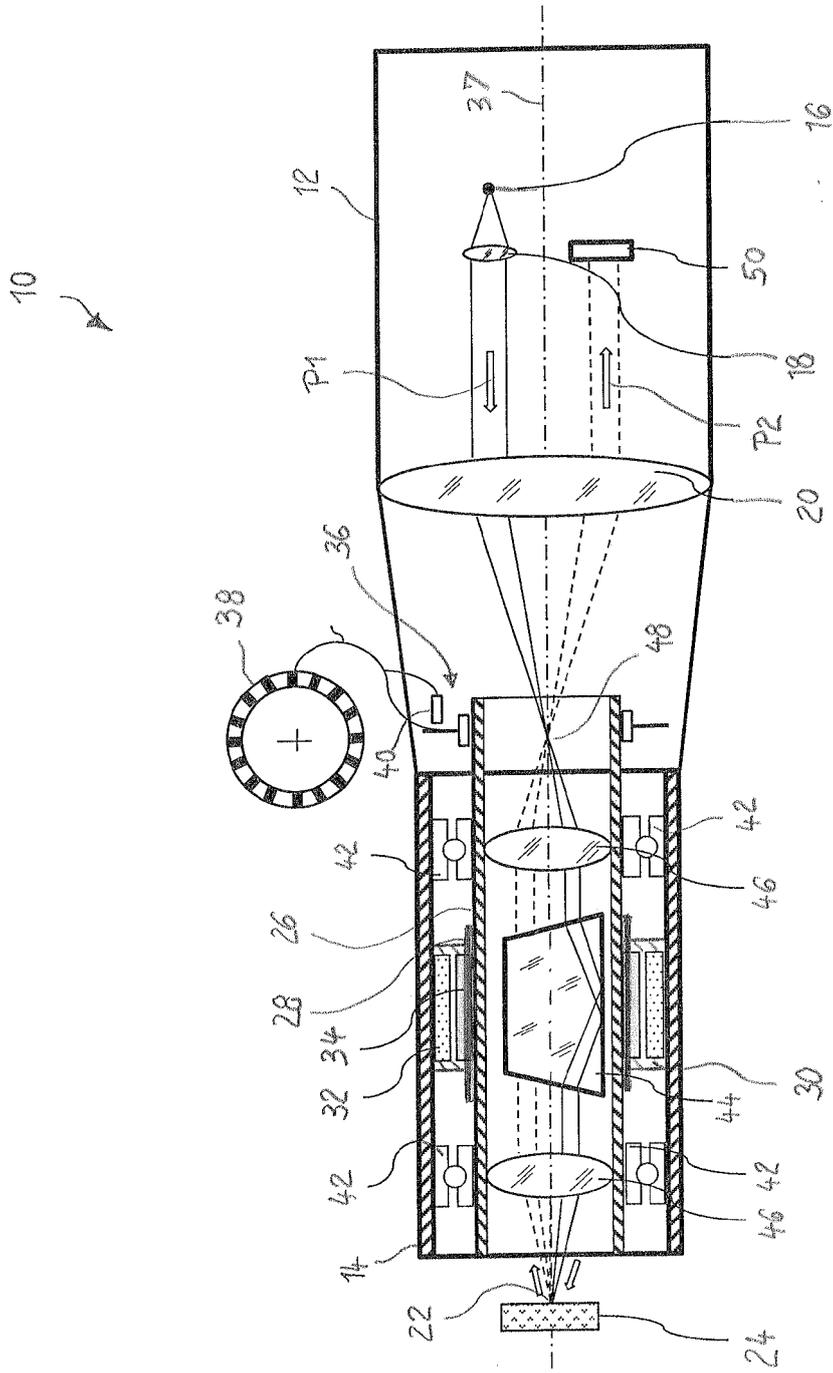


Fig. 1

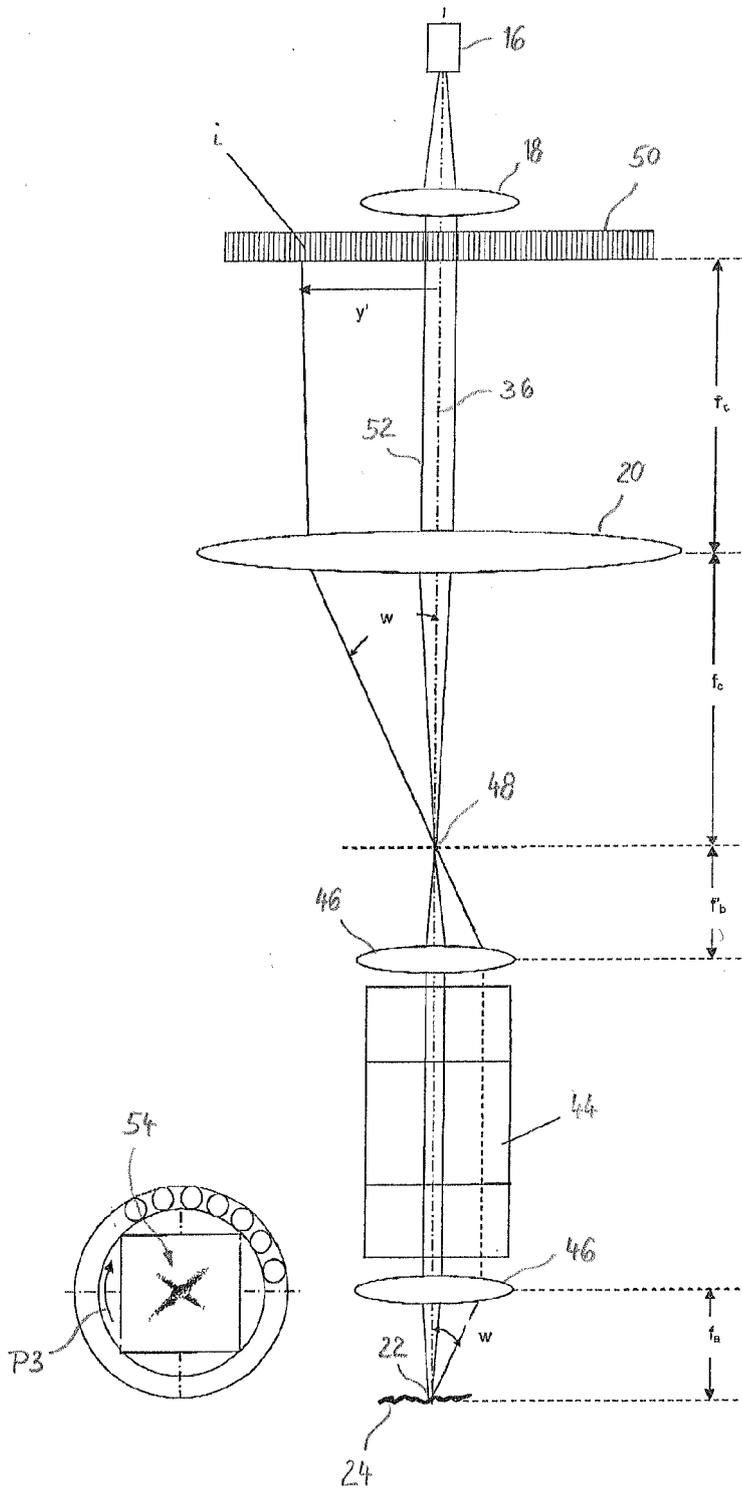


Fig. 2

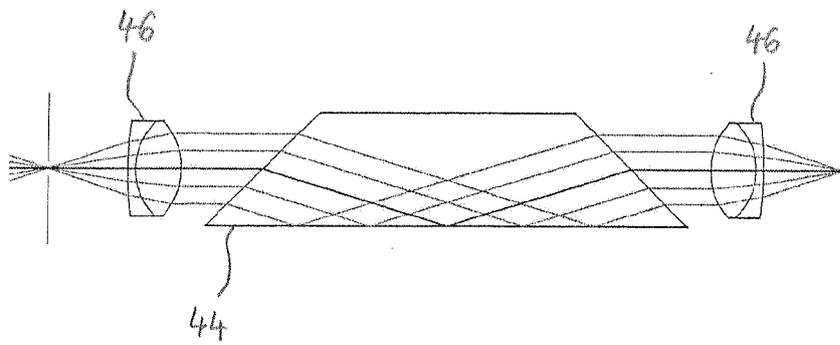


Fig. 3

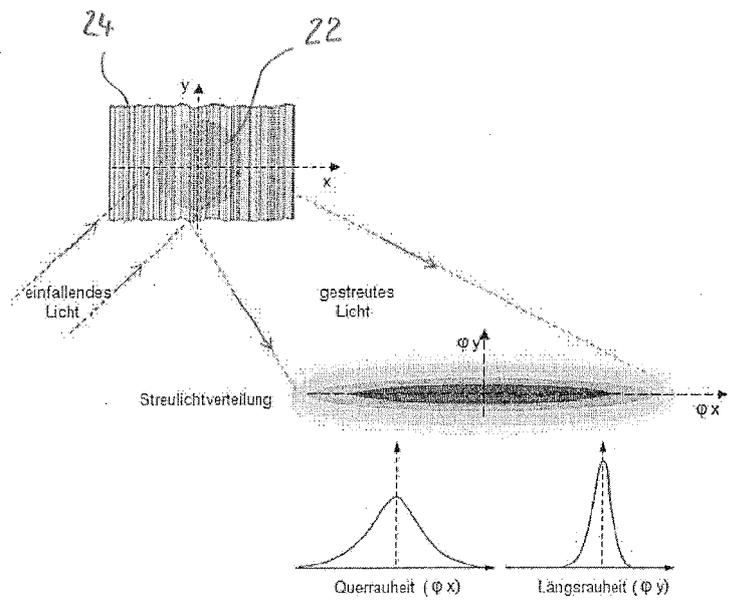


Fig. 4

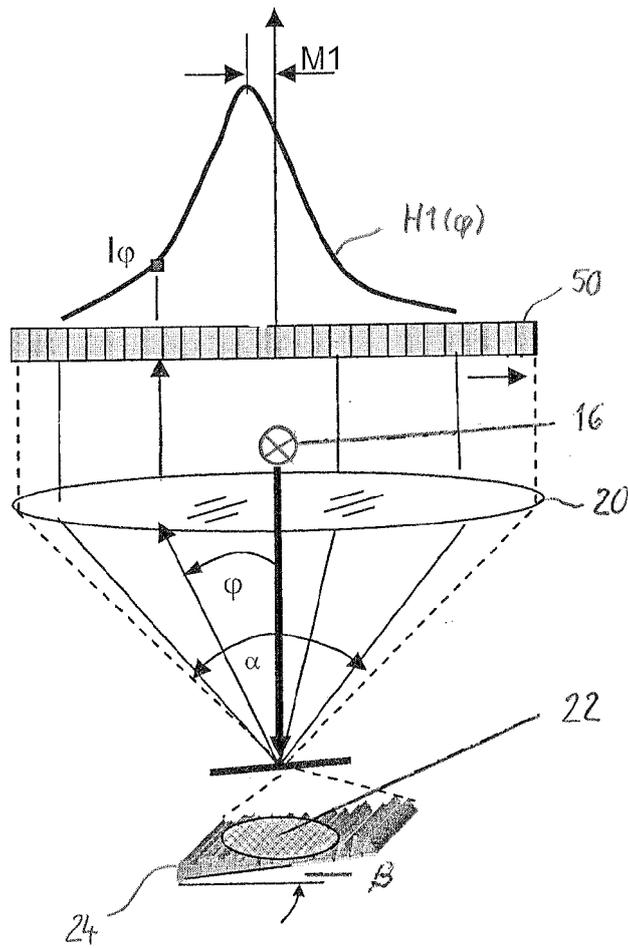


Fig. 5

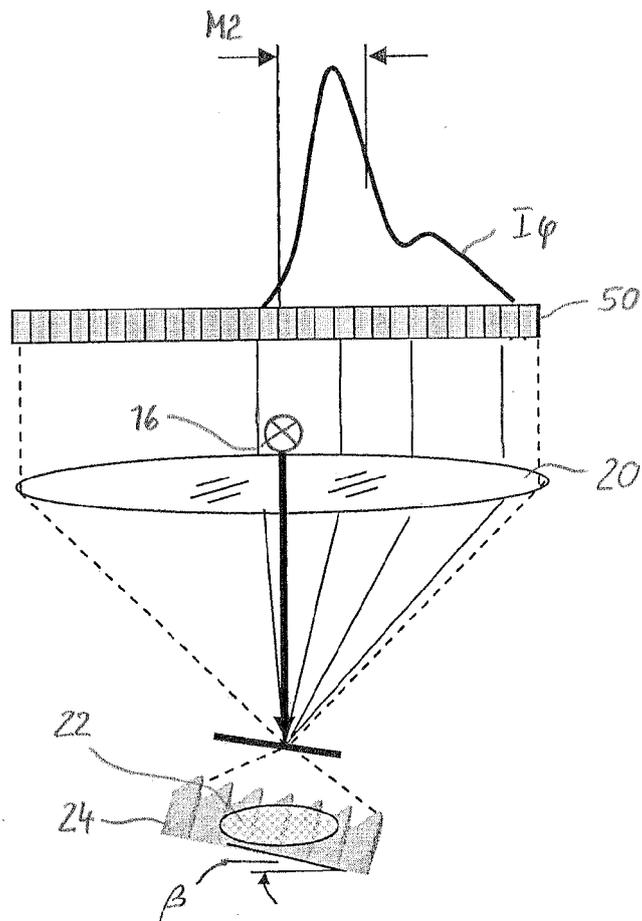


Fig. 6

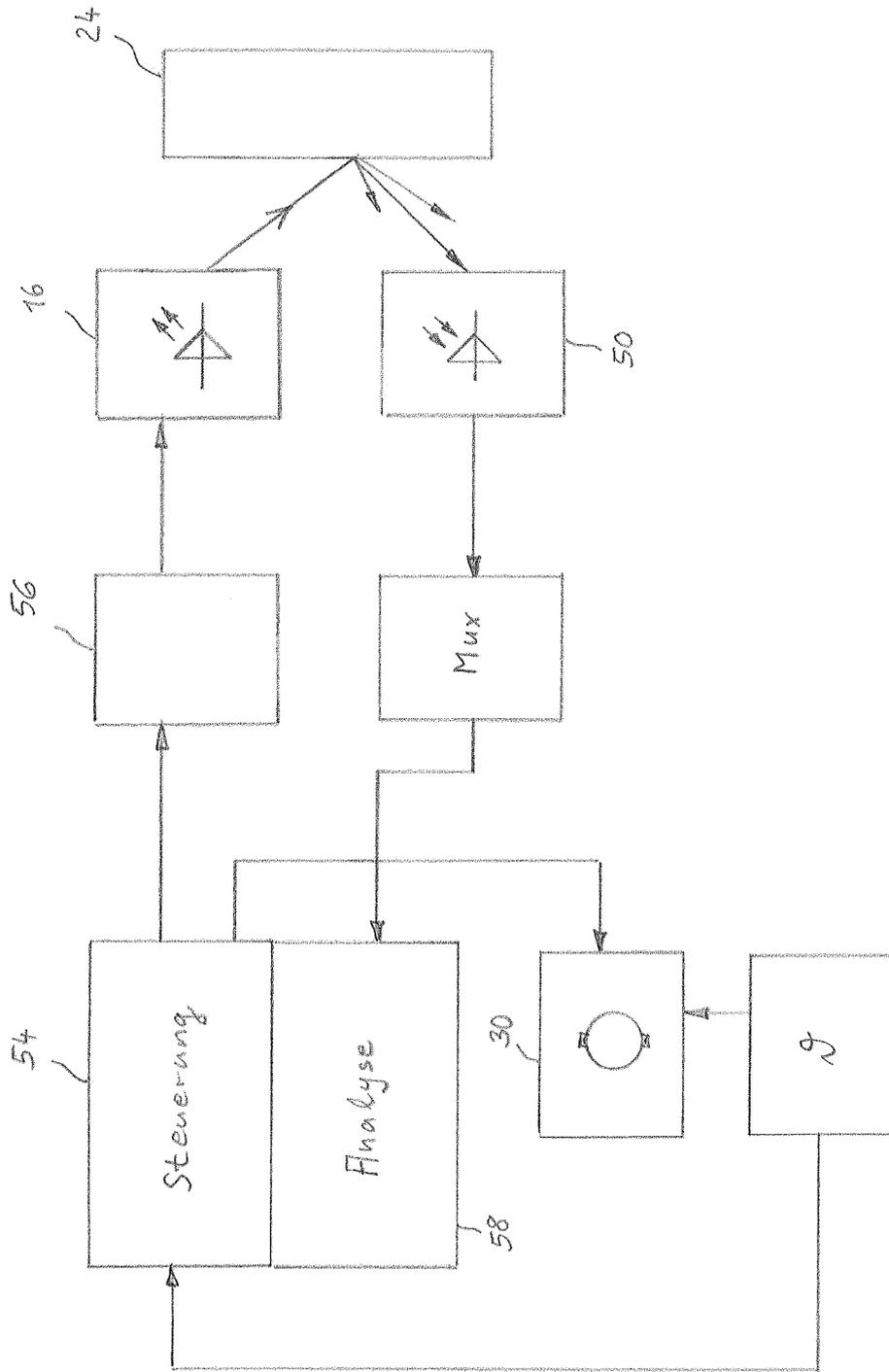


Fig. 7

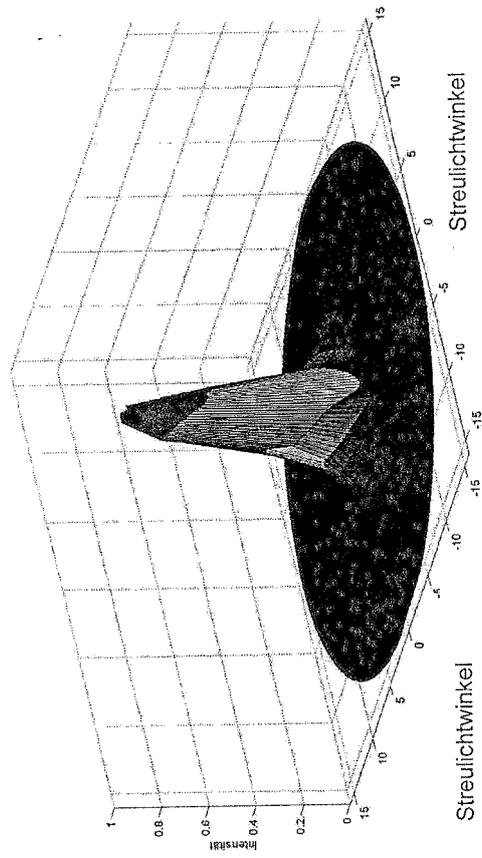


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 16 5720

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X Y A	US 2004/016896 A1 (ALMOGY GILAD [IL] ET AL) 29. Januar 2004 (2004-01-29) * Zusammenfassung; Anspruch 17; Abbildungen 8c,8d * * Absatz [0149] *	1-3,7,9,10 4,5 6,8	INV. G01N21/47
X A	US 5 677 763 A (REDMOND ROBERT [US]) 14. Oktober 1997 (1997-10-14) * Zusammenfassung; Anspruch 11; Abbildungen 1-9 * * Spalte 2, Zeile 4 - Zeile 15 * * Spalte 3, Zeile 35 - Zeile 8, Absatz 4 *	1-3,7 4-6,8-10	
X A	US 2008/024790 A1 (LU TONGXIN [US] ET AL) 31. Januar 2008 (2008-01-31) * Zusammenfassung; Abbildung 5 * * Absätze [0025], [0026], [0038] *	1,2,6 3-5,7-10	
X A	EP 0 323 845 A2 (NEC CORP [JP]) 12. Juli 1989 (1989-07-12) * Zusammenfassung; Abbildung 4 * * Spalte 7, Zeile 36 - Zeile 40 *	1-3,8 4-7,9,10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Y A	US 4 470 698 A (GREEN JR WILLIAM J [US] ET AL) 11. September 1984 (1984-09-11) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-6 * * Spalte 5, Zeile 55 - Zeile 58 *	4,5 1-3,6-10	A61B B24B B65H F22B G01B G01N G11B G06K
A	US 4 728 196 A (GERSTORFER OSKAR [DE]) 1. März 1988 (1988-03-01) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 * * Spalte 4, Zeile 15 - Zeile 23 *	1-10	
----- -/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 21. August 2012	Prüfer Gangl, Martin
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 16 5720

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	<p>OULAMARA A ET AL: "Optical surface inspection using a transverse speckle detection technique", OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, Bd. 67, Nr. 1, 1. Juni 1988 (1988-06-01), Seiten 34-38, XP024477331, ISSN: 0030-4018, DOI: 10.1016/0030-4018(88)90084-3 [gefunden am 1988-06-01] * das ganze Dokument *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 21. August 2012	Prüfer Gangl, Martin
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p>		<p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	

2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 16 5720

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

21-08-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004016896 A1	29-01-2004	AU 2003261207 A1	16-02-2004
		US 2004016896 A1	29-01-2004
		US 2005179891 A1	18-08-2005
		WO 2004011917 A1	05-02-2004
US 5677763 A	14-10-1997	KEINE	
US 2008024790 A1	31-01-2008	US 2008024790 A1	31-01-2008
		WO 2008016941 A2	07-02-2008
EP 0323845 A2	12-07-1989	DE 68917158 D1	08-09-1994
		EP 0323845 A2	12-07-1989
		US 4960313 A	02-10-1990
US 4470698 A	11-09-1984	CA 1200879 A1	18-02-1986
		US 4470698 A	11-09-1984
US 4728196 A	01-03-1988	CH 664438 A5	29-02-1988
		DE 3304780 A1	30-08-1984
		DE 8303856 U1	14-11-1985
		FR 2540988 A1	17-08-1984
		GB 2135772 A	05-09-1984
		JP 1644013 C	28-02-1992
		JP 3008686 B	06-02-1991
		JP 60000310 A	05-01-1985
		US 4728196 A	01-03-1988

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 3037622 C2 [0003]
- DE 3337468 C2 [0004]
- EP 0210263 B1 [0005]